

ОСВОЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ЦЕНТРОБЕЖНОЛИТЫХ ВАЛКОВ С РАБОЧИМ СЛОЕМ ИЗ ХРОМНИКЕЛЬМОЛИБДЕНОВОГО ЧУГУНА

Н.А. Жижкина, А.Н. Медведев

Брянский государственный технический университет, г. Брянск

Работа посвящена анализу термической обработки чугуновых изделий. Указано, что термическая обработка проводится для снятия внутренних напряжений, графитизации, обезуглероживания, изменения структуры и уровня свойств. В ходе экспериментов определены технологические параметры термической обработки центробежнолитых валков с рабочим слоем из хромникельмолибденового чугуна, которые необходимы для разработки эффективного процесса в специальных газовых печах с выдвижным подом. В работе показано, что такая обработка способствовала снятию в валках остаточных напряжений после литья. Целью настоящей работы является изучение влияния термической обработки на структуру, уровень твердости и напряженное состояние листопрокатных валков. Исследования валков в литом состоянии показали, что в зависимости от соотношения химических компонентов в составе анализируемого чугуна и скорости охлаждения отливки имели место различные структурные комбинации матрицы с включениями вторичных карбидов. В зависимости от их количественного соотношения изменялся уровень твердости. Результаты исследований напряженного состояния анализируемых отливок методом измерения коэрцитивной силы показали неравномерное распределение ее значений вдоль рабочей поверхности бочки вала. Предложенный в работе режим низкотемпературного отжига ($T = 673$ К) позволил получить более однородную структуру рабочего слоя валков. В результате уменьшилась неоднородность свойств вдоль его поверхности в 2 раза по сравнению с литым состоянием.

Ключевые слова: коэрцитивная сила; напряженное состояние; низкотемпературный отжиг; твердость; центробежнолитой валок.

Введение

В современном машиностроении 75 % деталей изготавливают из чугуна, что обусловлено высоким уровнем литейных, механических, служебных свойств и достаточной дешевизной их изготовления. Благодаря своей «универсальности» чугуновые изделия, работающие в различных условиях нагружения. К таким изделиям относятся и листопрокатные валки.

Валки, как основной прокатный инструмент, подвержены одновременно действию удельных давлений, крутящих и изгибающих моментов, а поверхность их бочки периодически нагревается от прокатываемого металла, температура которого составляет 1123–1523 К, и охлаждается водой или воздухом. В результате термических циклов в валке формируются напряжения, которые, складываясь с внутренними напряжениями, возникающие при его изготовлении, могут превысить предел упругости материала прокатного инструмента, и вызвать трещинообразование на его поверхности. Отдельные трещины в процессе прокатки постепенно увеличиваются и могут приводить к поломке вала [1–5].

Анализ эксплуатационной стойкости валков в станах горячей прокатки [4] выдвигает на первое место изделия, полученные из разнородных чугу-

нов путем центробежного литья в вертикально вращающиеся формы. Однако их заготовки характеризуются повышенным уровнем напряжений. Приведение уровня свойств и одновременно напряжений в соответствие с требованиями его эксплуатации достигается специальной термической обработкой, что является актуальным направлением развития современного машиностроения.

Исследования [1–9] показывают, что эффективность термической операции (температура и время выдержки, равномерность прогрева и охлаждения его заготовки) зависит от массивности изделия. С другой стороны получение однородной структуры и свойств, влияющих на напряженное состояние валков после термической обработки, определяется составом применяемых при их изготовлении сложнолегированных чугунов.

В связи с этим **цель настоящей работы** – изучить влияние термической обработки на структуру, уровень твердости и напряженное состояние крупногабаритных центробежнолитых валков.

Анализ публикаций, касающихся объекта исследований

Известно [6–8], что при термической обработке снятие внутренних напряжений обеспечивает нагрев, повышающий энергию атомов и устра-

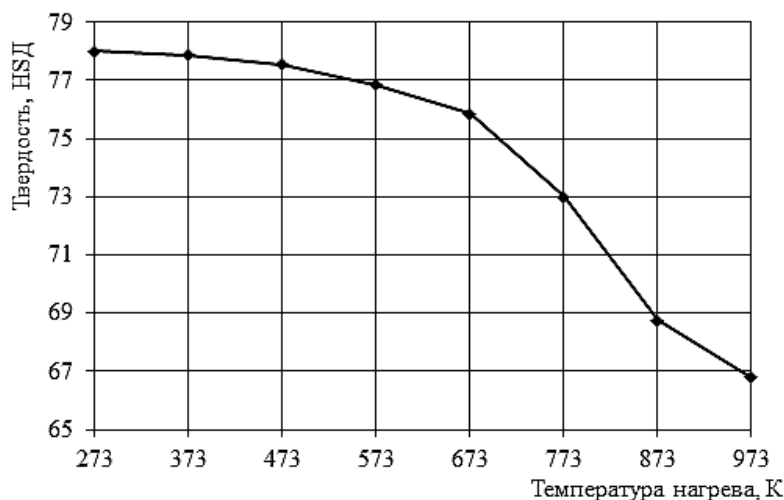


Рис. 1. Влияние температуры нагрева на твердость рабочего слоя из хромоникельмолибденового чугуна для листопркатного валка

няющий искажение кристаллической решетки. Снятие остаточных после литья напряжений в крупногабаритных валках достигается путем их отжига, рекомендуемая в [1–5, 9] температура которого колеблется в интервале 473–923 К. Такой процесс ограничивается фазовыми превращениями в металлической основе структуры рабочего слоя. Исследованиями [4] установлено, что чем выше температура отжига, тем эффективнее снимаются остаточные напряжения. Вместе с тем увеличение нагрева до 973 К, приводит к нежелательному спаду твердости материала (рис. 1).

Поскольку валковые отливки представляют собой крупногабаритные изделия (массой до 20 т), то разработка процесса термообработки состояла в поэтапном расчете скорости нагрева и охлаждения, а также определении времени выдержки, необходимом для снятия внутренних напряжений. Они основывались на теоретических расчетах изменения температурного поля и напряжений, а также возможной диффузии легирующих элементов при термической обработке валков [4]. Установлено, что увеличение скорости приводит к неравномерному нагреву отличающихся по сечению шеек и бочки отливки, и формированию значительного градиента температур внутри массивной отливки. Это вызывает в валке изменяющиеся по объему тела и во времени термические напряжения, которые, суммируясь с довольно высокими литейными напряжениями, создают опасность возникновения трещин в заготовке или ее разрушения. Для выравнивания температур по объему валковой заготовки в процессе нагрева или охлаждения в разработанной технологии предусмотрены дополнительные остановки при 473, 673 и 873 К.

Максимально допустимую скорость нагрева и охлаждения в работе [4] определяли для каждого типоразмера с учетом химического состава чугуна, его теплофизических свойств, наличия перемен-

ных сечений и фазовых превращений, происходящих в отливках. Расчеты основывались на том, что интенсивность температурных напряжений в высоколегированном чугуне при нагреве со скоростью ≈ 293 К/ч достигает 90–94 МПа. При этом исходили из того, что при нагреве поверхностные слои, имеющие более высокую температуру, растягивают сердцевину, а сами испытывают сжимающие напряжения. Во время выдержки, когда температуры поверхностных слоев и центра валка выравниваются, напряжения снижаются до 10 МПа. При охлаждении наружные слои, имеющие более низкую температуру, будут быстрее испытывать растягивающие напряжения, величина которых зависит от скорости охлаждения. С уменьшением скорости охлаждения от 290 до 276,7 К/ч интенсивность термических напряжений снижается от 29,0 до 7,0 МПа.

В процессе экспериментов [4] была установлена длительность выдержки, необходимая для снятия внутренних напряжений. Она ограничивалась возможным распадом мартенсита в структуре рабочего слоя, что приводило к нежелательному снижению его твердости. Полученные результаты использовали для разработки технологических параметров процесса термической обработки листопркатных валков с большим соотношением их длины к диаметру.

Методика проведения исследований

Исследования влияния низкотемпературного отжига (при $T = 673$ К) на структуру, уровень твердости и напряженное состояние крупногабаритных валков провели на центробежнолитых заготовках с рабочим слоем из хромоникельмолибденового чугуна (3,06–3,44 % С; 0,85–1,2 % Si; 0,76–1,1 % Mn; не более 0,13 % P и 0,03 % S; 1,7–1,9 % Cr; 4,2–4,6 % Ni; 0,32–0,49 % Mo) одного размера в литом и термообработанном состояниях.

Для этого в промышленных условиях было установлено специальное оборудование – газовые печи с выдвижным подом. Выявлено, что такие печи наиболее эффективны для осуществления режимов термической обработки крупногабаритных валков различной сложности при температурах до 1373 К [1–4, 10]. Разработка конструкции печи и схема расположения горелок основывались на промышленных исследованиях равномерности прогрева массивных валков в новом оборудовании. Для этого изучали кинетику процесса путем зачеканивания термопар в экспериментальные валки. В печи также установили несколько термопар для контроля равномерности прогрева ее рабочего пространства. Расположение валков по поду печи осуществляли так, чтобы факел не омывал непосредственно заготовки и обогрев изделия осуществлялся циркулирующей горячих газов в рабочем пространстве печи, что и должно было обеспечить равномерный нагрев–охлаждение, как по поверхности заготовки, так и по ее глубине.

В результате получен режим термообработки валков в печи, который соответствовал разработанному в лабораторных условиях процессу и характеризовался равномерностью нагрева и охлаждения валковых заготовок.

Количественный анализ микроструктуры образцов, специально отобранных от торцов исследуемых валков, проводили с помощью компьютерной программы «Видео Тест-Мастер Структура» [11], основанной на принципе Кавальери – Акера. Для выявления структуры, специально подготовленные шлифы обрабатывали раствором азотной кислоты в этиловом спирте. Исследования трудно выявляемых фаз в исследуемых сплавах проводили с помощью метода измерения микротвердости

на приборе ПМТ-3М, распределения химических компонентов в них микрорентгеноспектральным анализом.

Контроль твердости исследуемых материалов проводили на каждой заготовке согласно ТУ У 27.1-00190319-2003 с помощью прибора Роквелла.

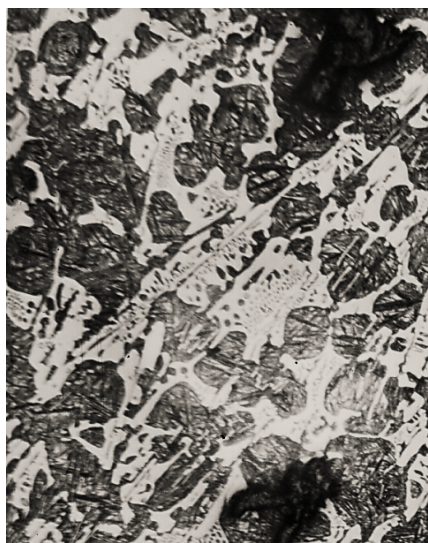
Напряженное состояние заготовок оценивали с помощью магнитной диагностики. Согласно исследованиям, проведенным в работе [4], в качестве экспресс-метода приняли определение коэрцитивной силы с помощью автоматизированного прибора КРМ-Ц.

Результаты исследований

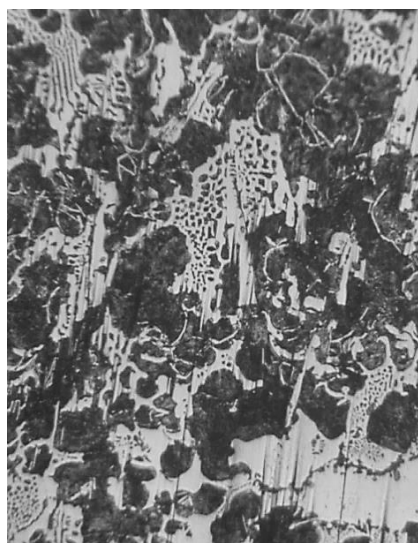
Исследования структуры рабочего слоя валков в литом состоянии показали, что в зависимости от соотношения химических компонентов в составе анализируемого чугуна и скорости охлаждения отливки имели место различные комбинации аустенитной, перлитной, бейнитной, мартенситной или ферритной структур с включениями вторичных карбидов. В зависимости от их количественного соотношения в металлической матрице изменялся уровень твердости.

Сравнение структур образцов рабочего слоя, характеризующихся одинаковым содержанием карбидов (30–35 %), показало повышение уровня твердости на 10 % (при 3 % статической погрешности) при увеличении доли мартенсита в металлической основе (рис. 2).

Из рис. 2 следует, что формирование структуры металлической матрицы происходит неравномерно по объему металла, что приводит к образованию межзеренных напряжений. Они, распределяясь неодинаково в разных зонах отливки, спо-



а)



б)

Рис. 2. Сравнение микроструктур рабочего слоя прокатных валков (травление 4%-ным спиртовым раствором азотной кислоты, $\times 100$): а – доля мартенсита в металлической матрице составляет 70 %, твердость 76 HSD; б – содержание мартенсита не превышает 30 %, твердость 70 HSD

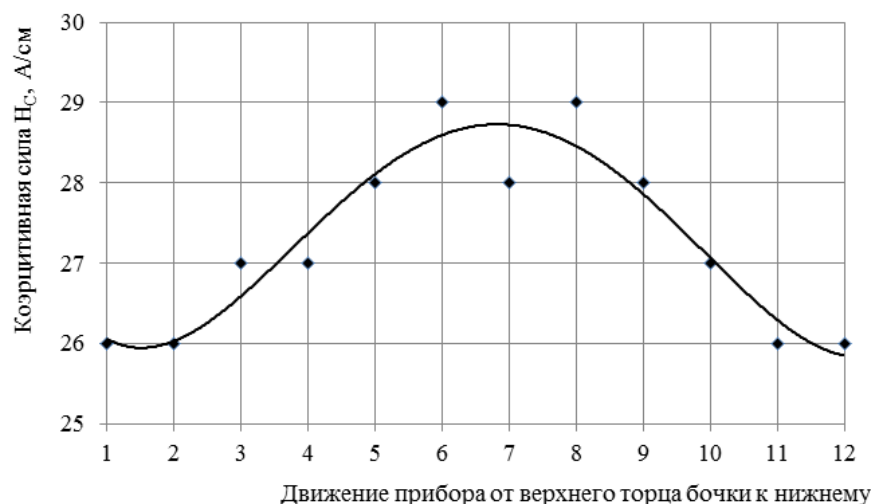


Рис. 3. Изменение уровня напряжений, оцененного методом измерения коэрцитивной силы, вдоль рабочей поверхности анализируемого валка в литом состоянии (твердость 76 HSD)

Таблица 1

Анализ влияния низкотемпературного отжига ($T = 673 \text{ K}$) на уровень твердости и коэрцитивной силы рабочего слоя анализируемых валков

№ подгруппы	Количество отливок, шт.	Средние значения свойств			
		твердости, HSD		коэрцитивной силы H_c , А/см	
		литое состояние	после термообработки	литое состояние	после термообработки
1	1	71	70	11,2	11,0
2	1	72	72	19,2	18,1
3	2	73	72,5	16,5	16,0
4	3	74	74	21,0	18,5
5	2	75	76	24,0	21,0
6	2	76	73	27,0	24,0
7	3	77	74	22,8	21,6
8	2	78	74	24,5	21,0
9	2	79	76	26,2	22,0

способствуют формированию макронапряжений в ней. Результаты исследований напряженного состояния анализируемых отливок методом измерения коэрцитивной силы показали неравномерное распределение ее значений вдоль рабочей поверхности бочки валка, что составило 4 А/см (рис. 3).

Для снижения напряжений (при сохранении уровня твердости) анализируемые валки подвергли низкотемпературному отжигу (табл. 1).

Из табл. 1 следует, что при снижении уровня коэрцитивной силы на 10–12 % спад твердости не превысил 5 %. При этом наблюдался единичный случай повышения твердости на 1 HSD.

Металлографическими исследованиями микроструктур рабочего слоя анализируемых валков после термической обработки выявлены вторичные карбиды в зернах металлической матрицы (рис. 4).

Из рис. 4 следует, что размер зерен и количество цементита аналогичны литому состоянию. После отжига металлическая основа стала более

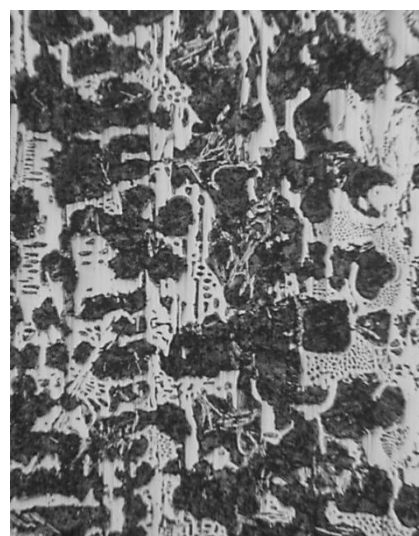


Рис. 4. Микроструктура рабочего слоя термообработанного валка (травление 4%-ным спиртовым раствором азотной кислоты, $\times 100$)

Таблица 2

Анализ влияния низкотемпературного отжига ($T=673$ К) на однородность свойств вдоль рабочей поверхности анализируемых валков

№ подгруппы	Количество отливок, шт.	Дисперсия показаний свойств, s^2			
		твердости		коэрцитивной силы H_c	
		литое состояние	после термообработки	литое состояние	после термообработки
1	1	–	0	0,2	0
2	1	0,5	0	4,62	2,77
3	2	0,5	0,3	1,16	0,83
4	3	4,5	2	3,95	2,5
5	2	–	–	3,0	1,6
6	2	2,5	0	1,6	0,9
7	3	2	0,5	2,3	1,2
8	2	0,3	0	2,5	1,2
9	2	0,3	0,3	1,0	0,7

Таблица 3

Анализ влияния однородного распределения свойств вдоль рабочей поверхности валков одного назначения на их эксплуатационные показатели

№ подгруппы	Количество валков, шт.	Дисперсия показаний s^2 свойств рабочего слоя		Эксплуатационные показатели	
		твердости	коэрцитивной силы	количество валков, полностью сработавших ресурс, шт.	среднее количество металлопроката, приходящееся на 1 валок, т
1	6	4,2	10,8	4	182075
2	5	2,8	0,44	3	219568

однородной. В ее зернах наблюдается преимущественно троостит ($H_{50} = 350-390$). Как результат уровень свойств валка вдоль рабочей поверхности более равномерный (табл. 2).

Показано, что в литом состоянии валки отличались более неравномерным уровнем свойств: дисперсия показаний твердости изменялась от 0,5 до 4,5, коэрцитивной силы – от 0,2 до 4,62. Применение термообработки позволило уменьшить в 2 раза разброс значений свойств вдоль рабочей поверхности при незначительном снижении их показаний (на 5–10 %).

Следовательно, предложенная технология термической обработки повысила однородность распределения свойств вдоль рабочей поверхности валков при незначительном снижении их уровня и обеспечила увеличение эксплуатационной стойкости формирующего инструмента на 20 % (табл. 3).

Заключение

1. Для уменьшения неоднородности структуры и уровня свойств листопрокатных валков, а также снятия остаточных после литья напряжений предложена технология термической обработки путем низкотемпературного отжига их заготовок. Ее разработка основывалась на теоретических расчетах изменения температурного поля при нагреве и охлаждении, а также включала определение времени выдержки, необходимым для снятия внутренних напряжений.

2. В работе проанализировано качество листопрокатных валков с рабочим слоем из хромникельмолибденового чугуна, которые подвергались термической обработке по предложенному режиму в специально разработанных газовых печах с подвижным подом.

Исследования валковых отливок показали, что вследствие фиксированного содержания карбидов (30–35 %) в структуре их рабочего слоя уровень свойств определялся фазовым составом металлической матрицы. Установлено, что повышение уровня твердости в 1,1 раза наблюдалось при 70 % мартенсита в металлической основе. Но такая структура отличалась неравномерностью, а, следовательно, и неодинаковым уровнем напряжений, который оценили методом измерения коэрцитивной силы. Выявлено, что разброс значений коэрцитивной силы вдоль рабочей поверхности бочки валка составил 4 А/см.

3. Применение разработанного режима низкотемпературного отжига ($T = 673$ К) позволило получить более однородную структуру рабочего слоя валков, а, следовательно, уменьшить разброс значений свойств вдоль его поверхности в 2 раза по сравнению с литым состоянием. Увеличение количества вторичных карбидов в преимущественно перлитной основе обеспечило снижение уровня напряжений на 10–12 % при незначительном спаде твердости (до 5 %), а, следовательно, повысить эксплуатационную стойкость валков на 20 %.

Литература

1. Будагьянц, Н.А. Исследование и разработка режима термической обработки биметаллических чугуновых валков для горячей прокатки / Н.А. Будагьянц, Н.А. Жижкина // Оборудование и технологии термической обработки металлов и сплавов (ОТТОМ): междунар. науч.-техн. конф., 28–31 авг. 2000 г.: сб. докл. – X., 2000. – Разд. 2. – С. 81–86.
2. Будагьянц, Н. А. Исследование напряженного состояния чугуновых биметаллических валков для станков горячей прокатки / Н.А. Будагьянц, Н.А. Жижкина // Сучасні проблеми металургії: матеріали наук.-практ. конф. «Проблеми і перспективи одержання конкурентноздатної продукції в гірничо-металургійному комплексі України», 24–25 жовт. 2000 р., Дніпропетровськ. Т. 3 / відп. ред. Ю.М. Таран. – Дніпропетровськ: Системні технології, 2001. – С. 367–373.
3. Будагьянц, Н.А. Литые прокатные валки / Н.А. Будагьянц, В.Е. Карский. – М.: Металлургия, 1983. – 175 с.
4. Жижкина, Н.А. Производство центробежнолитых валков с высоколегированным рабочим слоем: моногр. / Н.А. Жижкина. – Луганск: Ноулидж, 2011. – 167 с.
5. Прокатные валки из высокоуглеродистых сплавов / Т.С. Скобло, Н.М. Воронов, С.И. Рудюк и др.; под ред. Т.С. Скобло. – М.: Металлургия, 1994. – 336 с.
6. Ланда, А.Ф. Основы получения чугуна повышенного качества. Состав, структура, термообработка / А.Ф. Ланда. – М.: Гос.е науч.-техн. изд-во машиностроит. лит., 1960. – 240 с.
7. Фридман, Я.Б. Механические свойства металлов: в 2 ч. / Я.Б. Фридман. – Изд. 3-е перераб. и доп. – Ч. 1. – М.: Машиностроение, 1974. – 472 с.
8. Цыпин, И.И. Белые износостойкие чугуны. Структура и свойства. – М.: Металлургия, 1983. – 176 с.
9. Оценка влияния различных режимов термической обработки на уровень твердости и напряженно-деформированного состояния высокохромистого сплава / Т.С. Скобло, Н.А. Будагьянц, Н.А. Жижкина и др. // Оборудование и технологии термической обработки металлов и сплавов (ОТТОМ-7): междунар. науч.-техн. конф., 24–28 апр. 2006 г.: сб. докл. – X., 2006. – Разд. 2. – С. 63–67.
10. Еринов, А. Е. Совершенствование газовых малоинерционных высокоэффективных термических печей / А.Е. Еринов, А.М. Семернин, А.М. Кузьмич // Оборудование и технологии термической обработки металлов и сплавов (ОТТОМ): междунар. науч.-техн. конф., 28–31 авг. 2000 г.: сб. докл. – X., 2000. – Разд. 1. – С. 2–12.
11. Видео Тест. Методики. – СПб.: Видео Тест, 2002. – 61 с.

Жижкина Наталья Александровна, канд. техн. наук, доцент кафедры машиностроения и материаловедения, Брянский государственный технический университет, г. Брянск; litjo_snu@mail.ru.

Медведев Андрей Николаевич, студент кафедры машиностроения и материаловедения, Брянский государственный технический университет, г. Брянск; freimsfolk@mail.ru.

Поступила в редакцию 30 мая 2016 г.

DOI: 10.14529/met160312

DEVELOPMENT OF HEAT TREATMENT TECHNOLOGY OF CENTRIFUGALLY CAST ROLLS WITH WORKING LAYER OF CHROMIUM-NICKEL-MOLYBDENUM CAST IRON

N.A. Zhizhkina, litjo_snu@mail.ru,
A.N. Medvedev, freimsfolk@mail.ru

Bryansk State Technical University, Bryansk, Russian Federation

The paper is dedicated to analysis of heat treatment of cast iron products. It is noted that heat treatment is performed for reduction of internal stresses, graphitization, decarburization, to change structure and properties. During the experiments technological parameters of heat treatment of centrifugally cast rolls with working layer of chromium-nickel-molybdenum cast iron have been determined. They are necessary to develop effective process in special car bottom gas furnaces. It is shown that such treatment contributes to reduction of residual stresses in the rolls after casting. The aim of this paper was to study the effect of heat treatment on the structure,

hardness level and stress state of sheet-rolling rolls. Studies of as-cast rolls showed that various combinations of matrix with secondary carbide inclusions were observed depending of proportions of chemical components in the analyzed cast iron and cooling rate of the cast billet. Hardness level changed depending on their quantitative relations. Results of stressed state study of castings by means of coercive force measurement showed a non-uniform distribution of its values along the working surface of roll barrels. A regime of low-temperature ($T = 673$ K) annealing proposed in the work permitted to obtain a more uniform structure of the working layer of rolls. As a result, inhomogeneity of properties along working layer surface decreased two times compared to as-cast state.

Keywords: coercive force; stressed state; low-temperature annealing; hardness; centrifugally cast roll.

References

1. Budag'yants N.A., Zhizhkina N.A. [Research and Development of Heat Treatment Regime of Bimetallic Cast Iron Rolls for Hot Rolling]. *Oborudovanie i tekhnologii termicheskoy obrabotki metallov i splavov (OTTOM): Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya. Sbornik dokladov. Razdel 2* [Equipment and Technologies of Heat Treatment of Metals and Alloys (OTTOM): An International Scientific and Technical Conference. Proceedings. Section 2]. Kharkov, 2000, pp. 81–86. (in Russ.)
2. Budag'yants N.A., Zhizhkina N.A. [Investigation of Stressed State of Bimetallic Cast Iron Rolls for Hot Rolling Mills]. *Suchasni problemy metalurgiyi: Materialy naukovopraktychney konferentsii "Problemy i perspektivy oderzhannya konkurentnozdatnoy produktsiyi v girnycho-metalurginomu kompleksi Ukrayiny"* [Modern Problems of Metallurgy: Materials of Scientific and Practical Conference "Problems and Prospects of Obtaining Competitive Products in Mining and Metallurgical Complex of Ukraine"]. Vol. 3. Dnipropetrovsk, Sistemni tekhnologiyi Publ., 2001, pp. 367–373. (in Russ.)
3. Budag'yants N.A., Karsskiy V.E. *Litye prokatnye valki* [Cast Rolls]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1983. 175 p.
4. Zhizhkina N.A. *Proizvodstvo tsebrobezchnolitykh valkov s vysokolegirovannym rabochim sloem* [Production of Centrifugally Cast Rolls with High-Alloy Working Layer]. Lugansk, Knowledge Publ., 2011. 167 p.
5. Skoblo T.S., Vorontsov N.M., Rudyuk S.I., Budag'yants N.A., Voronina V.A. *Prokatnye valki iz vysokouglerodistykh splavov* [High-Carbon Alloy Rolls]. Skoblo T.S. (Ed.). Moscow, Metallurgiya Publ., 1994. 336 p.
6. Landa A.F. *Osnovy polucheniya chuguna povyshennogo kachestva. Sostav, struktura, termoobrabotka* [Fundamentals of Producing High-Quality Cast Iron. Composition, Structure, Heat Treatment]. Moscow, Mashgiz Publ., 1960. 240 p.
7. Fridman Ya.B. *Mekhanicheskie svoystva metallov* [Mechanical Properties of Metals]. Part I. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1974. 472 p.
8. Tsypin I.I. *Belye iznosostoykie chuguny. Struktura i svoystva* [White Wear-Resistant Cast Irons. Structure and Properties]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1983. 176 p.
9. Skoblo T.S., Budag'yants N.A., Zhizhkina N.A. et al. [Assessment of Effect of Various Heat Treatment Regimes on the Level of Hardness and Stress-Strain State of a High-Chromium Alloy]. *Oborudovanie i tekhnologii termicheskoy obrabotki metallov i splavov (OTTOM-7): Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya. Sbornik dokladov. Razdel 2* [Equipment and Technologies of Heat Treatment of Metals and Alloys (OTTOM-7): An International Scientific and Technical Conference. Proceedings. Section 2]. Kharkov, 2006, pp. 63–67. (in Russ.)
10. Erinov A.E., Semernin A.M., Kuz'mich A.M. [Modernization of Low-Inertial High-Efficiency Gas Furnaces for Heat Treatment]. *Oborudovanie i tekhnologii termicheskoy obrabotki metallov i splavov (OTTOM): Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya. Sbornik dokladov. Razdel 1* [Equipment and Technologies of Heat Treatment of Metals and Alloys (OTTOM): An International Scientific and Technical Conference. Proceedings. Section 1]. Kharkov, 2000, pp. 2–12. (in Russ.)
11. *Video Test. Metodiki* [Video Test. Techniques]. St. Petersburg, Videto-Test Publ., 2002. 61 p.

Received 30 May 2016

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Жижкина, Н.А. Освоение технологии термической обработки центробежнолитых валков с рабочим слоем из хромоникельмолибденового чугуна / Н.А. Жижкина, А.Н. Медведев // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2016. – Т. 16, № 3. – С. 83–89. DOI: 10.14529/met160312

FOR CITATION

Zhizhkina N.A., Medvedev A.N. Development of Heat Treatment Technology of Centrifugally Cast Rolls with Working Layer of Chromium-Nickel-Molybdenum Cast Iron. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*, 2016, vol. 16, no. 3, pp. 83–89. (in Russ.) DOI: 10.14529/met160312